



TITLE:

NONLINEAR DYNAMICS CHARACTERIZATION OF BIDIRECTIONAL SEISMIC RESPONSE OF STEEL BRIDGE PIERS(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Liu, Yanyan

CITATION:

Liu, Yanyan. NONLINEAR DYNAMICS CHARACTERIZATION OF BIDIRECTIONAL SEISMIC RESPONSE OF STEEL BRIDGE PIERS. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21090>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-03-25に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	劉 燕燕
論文題目	NONLINEAR DYNAMICS CHARACTERIZATION OF BIDIRECTIONAL SEISMIC RESPONSE OF STEEL BRIDGE PIERS (鋼製橋脚の2方向地震応答の非線形動力学的特性分析)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、鋼製橋脚を用いた橋梁の耐震設計において、1方向入力地震動を用いた非線形時刻歴応答解析により耐震性能の要求を満足することを確認する従来の方法と、多次元的な地震作用を受けるそれらの構造物の実際の地震応答や性能の評価の定量的な結果の相違に着目し、2方向地震動に対する応答と1方向入力地震動を仮定した場合の応答の関係の基本的な特性を、弾塑性復元力特性を考慮した動力学的な特性の側面からの分析により明らかとすることを目的としている。</p> <p>第1章では、まず研究の背景として現行の日本における橋の耐震設計法の考え方を海外での手法と比較しながら概観し、実際を反映した2方向地震動による応答と1方向入力地震動に基づく応答計算により得られる応答との相違の明確化が、耐震設計の合理化や安全性の確保の上で重要であることを述べている。次いで、地震動作用に対する橋梁や鋼製橋脚に関する過去の研究と課題を整理した上で、ここで着目する鋼製橋脚に関して、2方向地震動と1方向入力地震動の作用に対する動的応答の特性の相違の分析を通じて、本研究の目的である鋼製橋脚で支持された橋の2方向弾塑性応答に関する本質的な理解と解明が必要であることを指摘している。本論文におけるこうした検討への取り組み方法を示しながら、論文の全体構成について述べている。</p> <p>第2章においては、過去の載荷試験により検証された手法であるマルチスプリングモデル手法によりモデル化された鋼製橋脚モデルを対象に、同等な強さの1方向および2方向入力地震動に対する動的な弾塑性応答の検討を行い、様々な入力地震動群を用いた漸増動的解析による得られるIDA曲線およびフラジリティ曲線の算出を行っている。この結果に基づき、まず2方向入力地震動による最大応答値の統計的な分析を行い、入力の2方向性による応答値の影響が、1方向入力に比べて増大または減少が生じるばらつきとして整理できることを示している。さらにこのような統計的なデータをフラジリティ曲線の系統的な相違として定量的に整理できることを示し、1方向入力と2方向入力の場合に同一のフラジリティを与える入力強度の比として等フラジリティ係数の概念を提案している。その結果、等フラジリティ係数は、鋼製橋脚の断面形状タイプと、フラジリティを検討する耐震性能レベルの組合せに固有な、概ね一定の定数と見なせることを新たに見出した。さらに、このようなこのように算出される等フラジリティ係数を、鋼製橋脚の断面形状タイプによる入力の2方向性の影響の相違に依らず、耐震性能レベルを超過するリスクを同等に確保する耐震設計法に適用することを提案している。</p> <p>第3章では、鋼製橋脚の2方向弾塑性復元力特性を表現するモデルとして、広く知られているファイバーモデルとマルチせん断ばねモデル(MSSモデル)の2つに着目し、2方向弾塑性地震応答を検討している。1方向水平載荷によるプッシュオーバー解析によ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	劉 燕燕
<p>り得られる変位－復元力関係がほぼ同等な場合であっても、2方向応答には相違が見られることを示した上で、その本質的な原因として2方向弾塑性応答時に生じる履歴エネルギー吸収に、動径方向成分と2方向応答時に特有な周方向成分の2つが寄与している事を指摘している。1方向の直線運動から楕円軌跡を経て円形軌跡に至る様々な繰返し変位を橋脚モデルの上端に与えて塑性エネルギー吸収量を計算することで、この周方向成分の影響が極めて大きい可能性があることを示している。</p> <p>第4章では、様々な方向性の強さを与えた2方向入力地震動に対する、ファイバーモデルとMSSモデルによる鋼製橋脚モデルの時刻歴応答を比較している。両モデルの間の最大応答値の相違は、力学エネルギーの動径方向成分の増分量の差異との相関性が高い事を示すとともに、周方向復元力により生じる周方向エネルギー吸収量の大きさと強い相関性を有することを確認している。</p> <p>第5章では、まず鋼製橋脚モデルの上端に円形変位軌跡を与えた場合の、変位ベクトルと復元力ベクトルのなす角度として位相差角を定義し、この量が周方向エネルギー吸収の特性の別の表現であることを明らかにしている。この位相差角は、鋼製橋脚の2方向弾塑性復元力モデルに対応した、変位軌跡半径の関数として表現されることに基づき、位相差角の相違により2方向応答特性の特性の差を検討する考え方を展開している。さらにこのような特性評価を行うため、位相差角を陽に指定できる修正2方向剛塑性モデル（MRPBモデル）を新たに提案し、その2方向復元力特性とエネルギー吸収特性を示している。</p> <p>第6章では、MRPBモデルを用いて、周方向エネルギー吸収に着目した数値的な検討を行い、まず位相差角と2方向最大応答変位の間に成立する関係を検討している。その結果に基づき、与えられた鋼製橋脚モデルについて、変位軌跡半径と位相差角の関係を与えた場合に、2方向地震動に対する応答を繰返し収束計算により予測する方法を新たに提案している。バネ数2のMSSモデルとバネ数8のMSSモデルを例にこの計算を行った結果、提案手法で計算される応答の予測値は実際の計算値と極めて良好に一致していることを示し、本手法の有効性を提示している。</p> <p>第7章では、本研究において得られた結論および得られた知見を総括して述べている。</p>			

	氏 名	劉 燕燕
(論文審査の結果の要旨)		

本論文は、鋼製橋脚を用いた橋梁の耐震設計の合理化において重要となる、2方向地震動作用に対する弾塑性復元力特性を考慮した鋼製橋脚の応答を、動力学的な特性の側面からの分析により明らかにすることを目的とした検討を行ったものである。2方向地震動の耐震性能レベルに対応する fragility への影響の検討および新たに導入された等 fragility 係数による評価、2方向弾塑性復元力モデルの履歴エネルギー吸収における動径方向成分と周方向成分の寄与による検討、円形変位軌跡による変位ベクトルと復元力ベクトルのなす位相差角に基づく分析を行っており、一連の研究により得られた主な成果は次のとおりである。

1. 1方向入力と2方向入力の場合に同一の fragility を与える入力強度の比として新たに提案している等 fragility 係数が、鋼製橋脚断面形状と、fragility を検討する耐震性能レベルの組合せに固有な、概ね一定の定数となるという指摘は、これまでに知られていなかった重要な知見である。また、等 fragility 係数は、入力および応答の2方向性を無視した従来の手法では、耐震性能レベルを超過するリスクが鋼製橋脚断面タイプにより異なる結果となることを意味している。等 fragility 係数が適切に決定できるならば、地震動の2方向性の効果を考慮しながら断面タイプによらずリスクを同等とするような耐震設計の実現につながることを期待できる成果と言える。
2. 1方向水平載荷によるプッシュオーバー解析により得られる変位－復元力関係がほぼ同等な場合であっても、復元力モデルにより2方向応答には相違が見られることはこれまでも知られていることであるが、その本質的な原因として2方向弾塑性応答時に生じる履歴エネルギー吸収に動径方向成分と、2方向応答時に特有な周方向成分が寄与している事を指摘している。これは、従来着目されていなかった視点であり、また力学的な意味は明快で今後の2方向応答の定量的な評価に大いに貢献する方法論であると考えられる。
3. モデルの上端に円形変位軌跡を与えた場合の、変位ベクトルと復元力ベクトルのなす角度として定義される位相差の概念は既往の研究でも用いられていたが、この量が周方向エネルギー吸収特性の表現であることは重要な指摘である。また、この位相差角は、一般に2方向弾塑性復元力モデルの特性を表現できる明快な指標であるとともに、数値計算による評価が容易であるという大きな利点を持つ。

2方向弾塑性応答の特性との関連を示したことで、その有用性は極めて大きい。

本論文は、重要な社会インフラである橋梁の地震時安全性の確保とそのための構造設計法に寄与するとともに、有効性が高く明快な力学的分析手法として理論的にも重要な貢献を行ったものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。